

# Évolution spatio-temporelle des communautés d'invertébrés benthiques de la Dordogne

par David CARAYON\* & Guillaume MÉDEREL\*\*

\*&\*\*Laboratoire d'hydrobiologie de la DREAL Nouvelle-Aquitaine  
Boîte 55 – Cité administrative – rue Jules Ferry, F - 33090 Bordeaux Cedex

\* [carayon.david@gmail.com](mailto:carayon.david@gmail.com)

\*\* [guillaume.mederel@developpement-durable.gouv.fr](mailto:guillaume.mederel@developpement-durable.gouv.fr)

Travail réalisé dans le cadre du stage de fin d'étude du master « Biodiversité et suivis environnementaux » de l'université de Bordeaux, basé dans les locaux de la DREAL Nouvelle-Aquitaine.

Mots clés : Dordogne, zoobenthos, invertébrés, spatial, temporel, réseaux de surveillance, suivi bioindication.

L'objectif de cette étude est de valoriser les chroniques-invertébrés annuelles produites dans le cadre de la DCE et des réseaux nationaux de surveillance. Malgré une méthodologie plutôt adaptée au monitoring, l'objectif est ici d'apporter des résultats complémentaires à des études plus exhaustives mais temporellement ponctuelles en ce qui concerne l'évolution spatio-temporelle des communautés d'invertébrés. Les principales analyses spatiales réalisées avec les données issues du RCS se sont révélées très robustes pour analyser la structure des communautés et ainsi mettre en évidence le rôle majeur du gradient amont-aval.

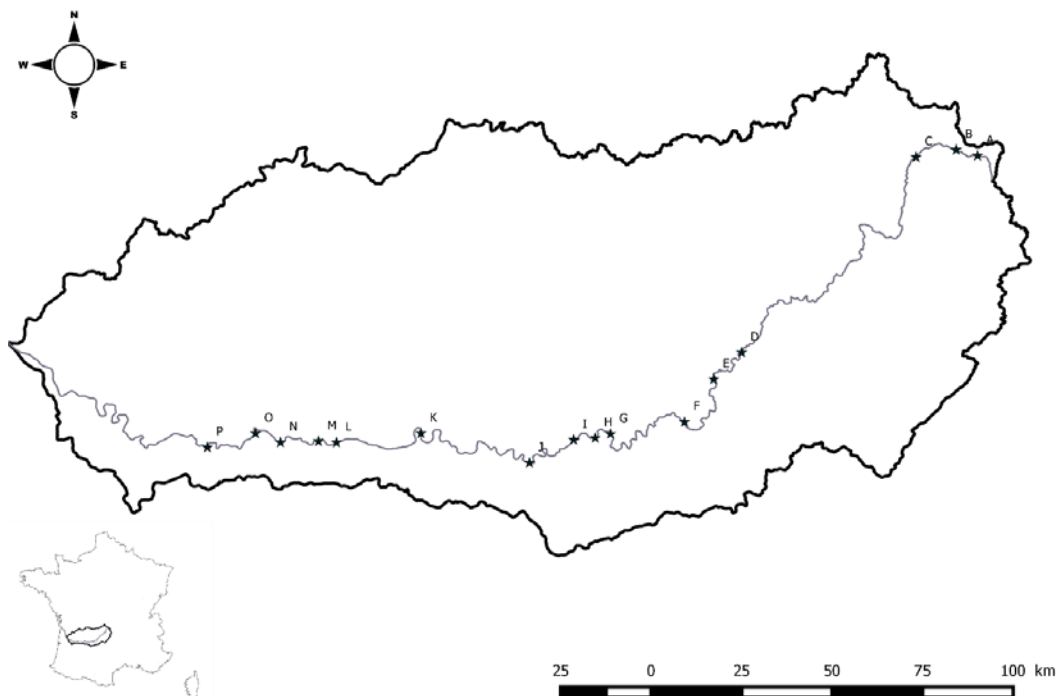
## **Spatio-temporal evolution of benthic invertebrates communities on the Dordogne River**

Keywords: Dordogne, zoobenthos, invertebrates, spatial, temporal, surveillance network, monitoring, bioindication.

The purpose of this study has been to valorise annual invertebrate data records produced by french national river surveillance networks, despite a methodology more suited to monitoring, by using them to try to provide complementary or additional results to more exhaustive but temporally isolated studies of spatio-temporal evolution of invertebrate communities. Data from the RCS surveillance networks have proved to be a very robust basis for the principal spatial analysis of the structure of invertebrate communities presented in this study and underline the major role of the upstream-dowstream gradient.

## **1. Introduction**

Les invertébrés de la rivière Dordogne ont déjà fait l'objet de nombreux travaux. Le CTGref (aujourd'hui Irstea) a réalisé un premier état des lieux en 1980 (CTGREF 1980) signalant une dégradation alarmante de la qualité globale de l'eau et des communautés d'invertébrés. F. Labat, dans les années 2010, a actualisé ces travaux et conclu à une amélioration de la qualité de la moyenne Dordogne, en opposition à une dégradation des parties plus extrêmes en amont (remontée des espèces vers les sources) et en aval (LABAT 2012).



Code agence	Nom de la station	Code Station	Statut	X(L93)	Y(L93)	Distance à la source (km)	Altitude (m)	Code HER1	Code HER2	Typologie	Code Typologie
05072050	La Dordogne en amont de La Bourboule	A	RCA	681802	6498936	10	893	3	91	PCE Massif Central Sud	P3
05072000	La Dordogne à St-Sauves	B	RCA	675913	6500572	17	788	21	89	PCE Massif Central Nord	P21
05009400	La Dordogne en amont de Singes	C	RCS	664821	6498548	32	582	21	89	PCE Massif Central Nord	P21
05068300	La Dordogne à Argentat	D	RCS	616635	6444171	141	179	3	93	GCE Massif central Sud	G3
05067000	La Dordogne à Brivezac	E	RCS	608936	6436733	159	140	3	93	GCE Massif central Sud	G3
05061500	La Dordogne à Carennac	F	RCS	600852	6424840	186	120	11	65	GCE Causses Aquitains exo. MC Sud-Nord	G11_3-21
05061000	La Dordogne à Lanzac	G	RCO	580403	6421522	226	95	11	64	GCE Causses Aquitains exo. MC Sud-Nord	G11_3-21
05060930	La Dordogne à Roc	H	RCA	576170	6420403	232	96	11	64	GCE Causses Aquitains exo. MC Sud-Nord	G11_3-21
05060900	La Dordogne à St-Julien de Lampon	I	RCS	570218	6419876	240	81	11	64	GCE Causses Aquitains exo. MC Sud-Nord	G11_3-21
05059000	La Dordogne à Cenac	J	RCS	558011	6413483	261	80	11	64	GCE Causses Aquitains exo. MC Sud-Nord	G11_3-21
05048210	La Dordogne à Trémolat	K	RCS	528014	6421692	312	47	11	64	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11
05047600	La Dordogne à Cours de Pile	L	RCS	504691	6419124	341	18	14	66	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11
05047510	La Dordogne au niveau de Bergerac	M	RCO	499704	6419465	347	18	14	66	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11
05047000	La Dordogne en aval de Bergerac	N	RCS	489203	6419169	360	13	14	66	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11
05046740	La Dordogne à Le Fleix	O	RRP	482317	6421656	371	15	14	66	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11
05046000	La Dordogne à Pessac	P	RCS	469008	6417797	389	4	14	66	TGCE Coteaux Aquitains exo. MC-Causse	TG14_3-11

Figure 1. Carte et paramètres typologiques des 16 stations de prélèvements.

Figure 1. Mapping and typological parameters of the 16 sampling sites.

Ces deux études sont en revanche limitées d'un point de vue temporel : chacune d'entre elles a consisté en un état des lieux à un instant donné (1980 et 2010). La comparaison d'une étude à l'autre ne peut prendre en compte le détail de l'évolution annuelle des communautés sur la période les séparant. Une telle étude annuelle à effort d'analyse identique resterait cependant très difficile à mettre en place en termes de temps et de moyens.

Dans le cadre des réseaux de bio-indication, des listes faunistiques représentant les communautés d'invertébrés sont produites chaque année. Ces données ne sont pas, à priori, compatibles avec des travaux de recherche (niveau d'identification trop faible, non exhaustivité des prélèvements...) mais possèdent l'avantage de représenter de grandes chroniques temporelles.

L'objectif de cette étude est de valoriser les données issues des réseaux de suivis et de bio-indication pour apporter des éléments complémentaires, aux travaux de recherche sur l'évolution spatio-temporelle des communautés d'invertébrés. Cette étude se distinguera également des autres citées précédemment par des approches sous contraintes abiotiques et fonctionnelles.

## **2. Matériel & méthodes**

### **2.1. La Dordogne et son bassin versant**

La Dordogne est une rivière de 483 km qui prend sa source en Auvergne au Puy-Sancy et traverse deux régions, six départements et 173 communes avant de rejoindre la Garonne au Bec d'Ambès pour former l'estuaire de la Gironde.

Elle traverse une grande variété de substrats géologiques : depuis les massifs éruptifs du Sancy en passant par les grands causses du Cantal, de la Corrèze et du Quercy, avant d'atteindre sa largeur et son débit maximaux dans le bassin Aquitain.

D'un point de vue hydrologique, son régime est essentiellement pluvial ou pluvio-nival. Le bassin de la Dordogne est un territoire remarquable par une nature encore préservée et riche, constitué d'un cours d'eau central (La Dordogne) et de 150 cours d'eau principaux, le tout représentant un linéaire de 5300 km. Les milieux semi-naturels et agricoles y représentent respectivement près de 43 % et 54 %, alors que les milieux artificialisés ne représentent que 2 % d'un bassin de 24 000 km<sup>2</sup> (CORINE LAND COVER 2006). Le cours d'eau reste tout de même marqué par des pressions humaines agricoles et liées à la production d'hydroélectricité (11 barrages qui impactent près d'un quart du linéaire).

### **2.2. Acquisition et mise en forme des données**

#### **2.2.1. Caractéristique des stations**

Seize stations de relevés invertébrés du RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance) ont été identifiées et sélectionnées. En plus de leur code agence, ces stations sont numérotées alphabétiquement le long du gradient amont-aval pour améliorer la lisibilité des résultats (Fig. 1).

Sur ces seize stations, les chroniques de données à disposition sont variables et une hétérogénéité dans les méthodes de prélèvement (normes) est également à noter (Fig. 2). Le niveau de détermination était d'abord variable (IB et IQBG) avant d'être fixé au niveau A (majorité des



### 2.2.3. Physico-chimie et hydrologie

Dans le but d'expliquer statistiquement les communautés d'invertébrés par des paramètres abiotiques, une matrice de paramètres environnementaux mesurés dans les seize stations a été établie, divisée en deux sous-matrices « R » et « r » afin de les placer en regard des matrices L et I.

Les données physico-chimiques brutes ont été extraites du Système d'Information sur l'Eau (SIE) du site de L'AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE (2006). Neuf paramètres ont été sélectionnés : température, oxygène dissout, saturation en oxygène, conductivité, DBO5, MES et nitrates. Les relevés physico-chimiques sont en général mensuels. La moyenne de l'ensemble des valeurs du paramètre sur les six derniers mois précédant le prélèvement a été considérée comme une métrique représentative de la possible influence de la physico-chimie sur les communautés d'invertébrés. En revanche, les neuf paramètres n'ont pas été systématiquement mesurés et la chronique de suivi a varié selon les stations. De ce fait, un grand nombre de données sont manquantes. Ces dernières ont été modélisées (imputées) par les outils du package R missMDA, optimisées pour des analyses multivariées (JOSSE & HUSSON 2016).

Les données hydrologiques sont issues de la Banque Hydro (BANQUE HYDRO 2006). Sur la base des préconisations d'échantillonnage dans les normes, il est considéré ici que seuls les événements hydrologiques survenant dans les quatre semaines précédant un relevé d'invertébrés seront susceptibles d'influencer et donc d'expliquer les changements dans les communautés. La première métrique sélectionnée correspond à la valeur absolue du pourcentage de variation des débits journaliers sur les 30 jours précédant le relevé (VarQ). Le caractère sec ou humide de l'année a également été considéré en observant le rapport entre le débit moyen de l'année et le module Qa.Mod (le module étant le débit moyen interannuel, calculé sur la totalité de la chronique) et entre le débit moyen sur les 30 jours précédant le relevé et le module (Qm.Mod).

### 2.2.4. Données bioécologiques

L'ouvrage de Tachet et coll. propose pour chaque genre et espèce d'invertébrés une valeur d'affinité à différents traits fonctionnels selon le principe d'un « codage flou » (TACHET et al. 2003). L'affinité de chaque genre y est codée par une note variant entre 0 (affinité nulle) et 5 (affinité maximale). Le codage flou ne permet pas de réaliser les analyses statistiques employées par la suite. Les codes d'affinité ont donc été pondérés de façon à ce que la somme de chaque modalité d'un trait soit égale à 1 pour un taxon donné.

## 2.3. Méthodologie statistique

À partir des trois matrices R, L et Q établies, un large spectre d'analyses statistiques a été développé afin de caractériser les communautés de macro-invertébrés. A partir de la matrice faunistique uniquement (L et I), l'évolution globale de la structure des peuplements a été abordée par des analyses de groupements couplées à des Analyses Factorielles des Correspondances (AFC). Afin d'expliquer les structures observées, des analyses à deux tableaux, telles que des analyses de co-inertie, ont ensuite été réalisées. Enfin, des analyses à trois tableaux, de type RLQ, ont été réalisées pour soumettre la faune à une double contrainte environnementale/bioécologique afin d'appréhender au mieux la structuration des communautés.

Les différents outils statistiques cités ci-dessus ont d'abord été employés pour une caractérisation spatiale, soit inter-stations où chaque année est réduite à un réplikat. Puis, l'évolution de ce pattern spatial dans le temps, soit la caractérisation spatio-temporelle, a été

conduite par l'analyse d'un sous-jeu de stations aux chroniques communes. En effet, dans le jeu de données initial, l'année 2016 pourrait ressortir des analyses comme plus caractéristique de zonations « aval » que l'année 2010, simplement parce que plus de stations ont été prélevées en aval en 2016.

### 3. Résultats

#### 3.1. Analyses spatiales

Dans un premier temps, les grands gradients ont été étudiés par des analyses simples à un tableau. La structuration des communautés a été abordée par des analyses de type AFC (Analyse Factorielle des Correspondances, test du chi-2  $P < 0.05^*$ ). Pour la matrice I, les structures observées sont relativement faibles (20 % d'explicativité sur le plan majeur F1/F2) et ne produisent pas de résultats interprétables de manière satisfaisante.

En revanche, des résultats intéressants sont produits par l'analyse de la matrice L. La considération des seuls genres d'EPT (Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères), reconnus pour être les meilleurs ordres indicateurs de qualité de l'eau parmi les invertébrés (LENAT & PENROSE 1996), permet de diminuer le nombre de variables et ainsi de rendre cette analyse plus robuste, avec moins de taxons (52) que de prélèvements (57) (Fig. 3).

L'explicativité du premier plan F1/F2 est ici satisfaisante (40 %). Un effet Gutmann (ou fer à cheval) est clairement visible sur cette figure, et met donc en évidence un gradient environnemental. L'axe principal de cette analyse correspond à la zonation amont-aval de la rivière (confirmée par l'analyse des typologies, qui se succèdent depuis P (petit cours d'eau) jusqu'à TG (grands cours d'eau) et dont le test de permutation (Monte-Carlo) indique la significativité ( $P < 0.01^{***}$ ). Le second axe correspond quant à lui à un gradient d'amplitude écologique, c'est-à-dire que les grands scores sur cet axe (positifs ou négatifs) correspondent à des taxons présentant de faibles amplitudes écologiques (sténoèces), alors que les taxons proches du zéro sont plutôt euryèces. Il est également possible de constater l'influence assez nette de la chaîne de barrages se situant entre les stations C et F.

Afin d'identifier les facteurs pouvant potentiellement expliquer la distribution des communautés, des analyses sous contraintes à deux puis trois tableaux ont été menées sur la matrice I. Une analyse de coinertie, appliquée à la faune (en ne considérant à nouveau que les genres EPT) et aux traits bio-écologiques, permet d'observer la différence entre la position théorique sur le gradient environnemental des taxons définis selon leurs traits et leur position effective constatée lors des prélèvements (Fig. 4).

Il apparaît ici que les flèches de plus grande taille se situent dans la partie aval du gradient, mis à part le genre *Lasiocephala* (code 307) en amont. Les grandes flèches pour les taxons tels que *Raptoabaetopus* (3198) ou *Caenis* (457) sur la portion aval sont indicatrices de plus grandes perturbations sur cette portion du linéaire, ce qui semble cohérent dans le contexte de la Dordogne. Une analyse à trois tableaux de type RLQ a ensuite été menée, comme son nom l'indique en utilisant les matrices R, L et Q afin de soumettre les données faunistiques à une contrainte à la fois environnementale (physico-chimie / hydrologie) et fonctionnelle (traits bio-écologiques) (Fig. 5).



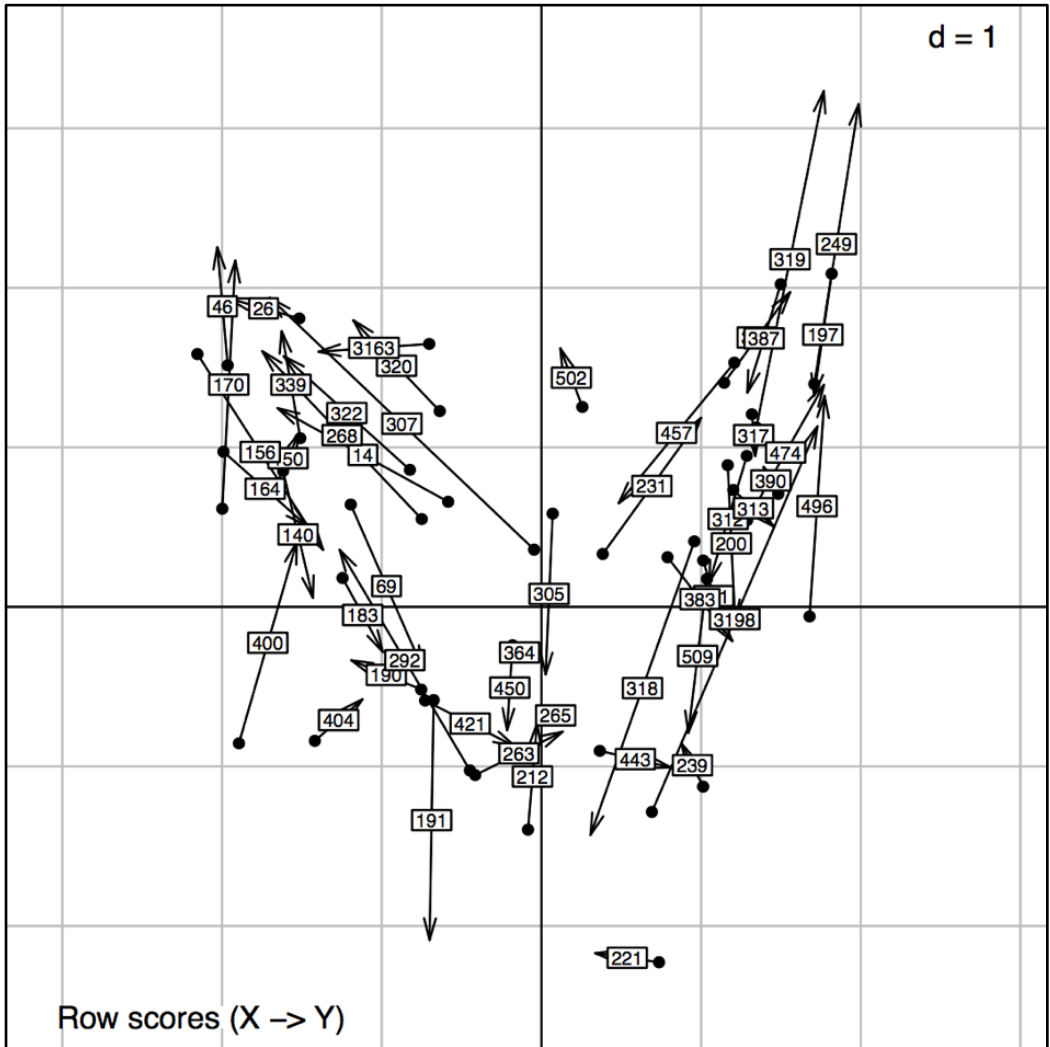


Figure 4. Premier plan factoriel de l'analyse de co-inertie (80 %) réalisée à partir de l'AFC sur les genres d'EPT et de l'ACP réalisée sur les traits bioécologiques. L'origine des flèches indique la position théorique des taxons sur le gradient amont-aval (fer à cheval) selon leurs traits bioécologiques et la pointe indique leur position effective constatée selon les prélèvements.

Figure 4. First factorial plane of the co-inertia analysis (80 %) realised on the basis of the CA on the EPT genera and PCA on bio-ecological traits. The origin of the arrows indicates the theoretical position of taxa on the upstream-downstream gradient according to their functional traits and the arrowhead indicates the effective position according to the samples.





organismes y développent des stratégies monovoltines (<1 génération par an), une alimentation par la prédation et une respiration branchiale plutôt que tégumentaire. Les communautés d'aval quant à elles semblent plutôt caractérisées par des taxons polysaprophes, préférant des eaux chaudes (>15 °C) et un courant plus lent. Les organismes y sont plutôt racleurs/filtreurs/broueteurs et favorisent des stratégies reproductives (MACARTHUR & WILSON 1967) plus proches du type « r », c'est-à-dire caractéristique de milieux instables ou défavorables (durée de vie courte, nombreuses générations) au contraire de l'amont où la stratégie est plutôt de type « K », caractéristique de milieux stables avec durée de vie longue et faible descendance.

En ce qui concerne les paramètres environnementaux, les communautés d'aval semblent plus caractéristiques de hautes valeurs de conductivité, de nitrates, de matières en suspension et de température, contre des plus faibles valeurs de ces paramètres en amont. De plus hautes concentrations en oxygène dissout sont mesurées en amont.

### 3.2. Analyses spatio-temporelles

Pour analyser l'évolution spatio-temporelle des communautés, une AFC a été réalisée sur un sous-jeu de données de trois stations (I, J et N) pour lesquelles les chroniques considérées étaient identiques (de 1987 à 2016, à l'exception de quelques années qui n'étaient pas communes aux trois stations). L'étude de telles chroniques implique donc une analyse au niveau A de détermination, soit 75 prélèvements et 58 taxons (Fig. 6).

Cette analyse met en évidence un plan spatio-temporel, dont l'explicativité ne dépasse cependant pas les 20 %. L'axe principal porte la dimension temporelle et l'axe secondaire la dimension spatiale (opposition entre I et J du côté négatif et N du côté positif). Les scores des prélèvements, c'est-à-dire leurs coordonnées sur l'ordination, sont à la fois croissants et significatifs sur les deux axes au cours du temps (régression linéaire,  $P < 0.05^{**}$ ). L'évolution temporelle traduite par les scores sur l'axe 1 est principalement expliquée par l'apparition du mollusque *Corbicula*, initialement asiatique mais invasif en Europe et en Amérique depuis près de 80 ans et s'étant installé en France depuis une dizaine d'années (SOUSA et al. 2008). La majorité des autres taxons pour lesquels une apparition a été mise en évidence n'est en revanche pas liée à une récente colonisation, mais plutôt aux normes de prélèvements elles-mêmes qui, depuis 2010 sur ces trois stations, demandent la prise en compte d'un plus grand nombre de taxons. Le genre *Crangonyx* (famille des Crangonyctidae) en est un bon exemple de taxon recherché seulement depuis la nouvelle norme en 2010.

L'évolution spatiale traduite par l'axe 2 reste limitée par la faible diversité spatiale des stations considérées (les trois sont dans la partie moyenne-aval de la Dordogne). Cependant, en considérant la significativité des tendances sur ces deux axes, il est possible de conclure sur une potentielle tendance dans les communautés à se rapprocher de peuplements d'aval.

Une telle tendance devrait être confirmée par l'analyse de traits bio-écologiques, mais l'information n'est disponible (et cohérente) qu'au niveau générique. Il est donc impossible à l'heure actuelle de conclure pour la Dordogne sur cette évolution de préférendum écologique tant que suffisamment de stations ne présenteront pas des listes faunistiques au niveau B temporellement comparables.

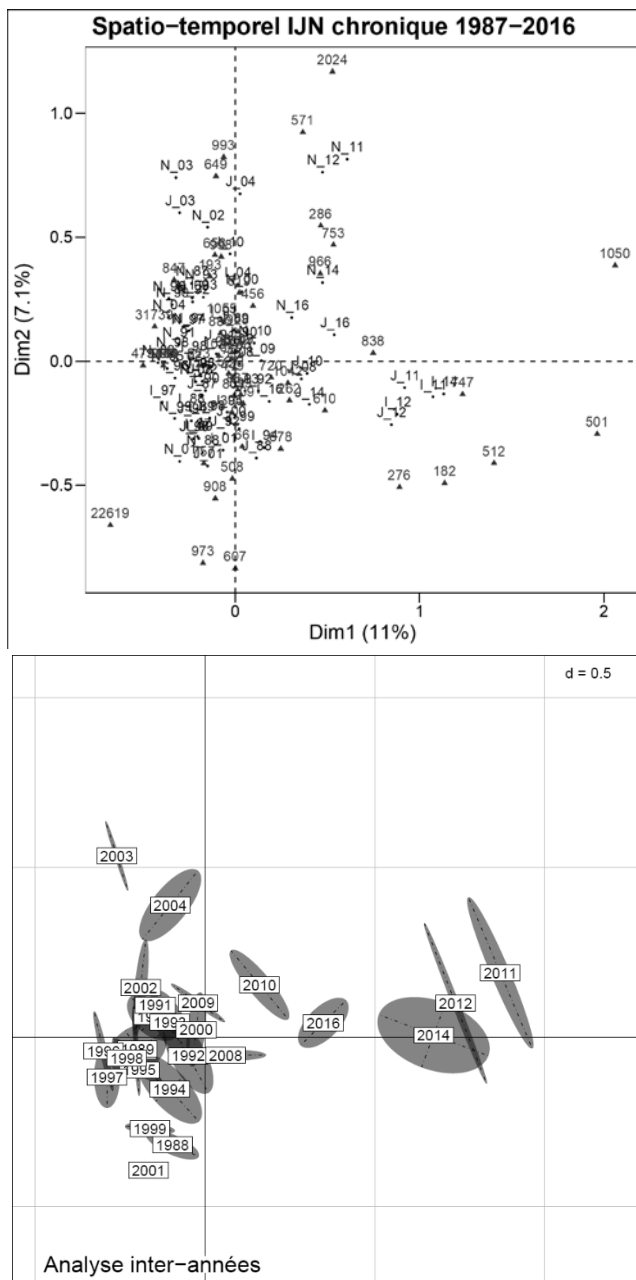


Figure 6. Premier plan factoriel de l'AFC réalisée sur les taxons niveau A sur la chronique 1987-2016 des stations I, J et N (haut) et position des années sur ce premier plan factoriel (bas).

Figure 6. First factorial plane on the CA realised on level A taxa on the 1987-2017 data record of sites I, J and N (up) and position of the years on this same factorial plan (down).

## 4. Discussion

Au terme de cette analyse, il apparaît clairement que le premier facteur structurant les communautés d'invertébrés est le gradient amont-aval. Cela est tout à fait en adéquation avec la littérature, on retrouve en effet ici la théorie du River Continuum Concept, qui définit l'importance prépondérante de ce gradient dans la structuration des grands écosystèmes lotiques (VANNOTE et al. 1980).

L'analyse des traits fonctionnels révèle une structuration toujours en conformité avec cette théorie. Les taxons échantillonnés en amont sont identifiés comme présentant des affinités avec les zonations du Crénon / Rhithron (ILLIES & BOTOSANEANU 1963) et des conditions typiques de l'amont d'une rivière (température assez basse, courant rapide, milieu oligotrophe...). Les organismes qui s'y développent profitent d'un environnement plus favorable aux jeunes pour développer des stratégies reproductives de type « K », en opposition aux taxons échantillonnés en aval qui présentent des stratégies « r » et des affinités à une zonation de type Potamon, à l'eau lente, chaude et plus chargée en éléments minéraux. En revanche, l'analyse de co-inertie révèle une certaine inadéquation entre la position théorique des taxons sur le gradient et la position effective selon les prélèvements, particulièrement dans le tronçon aval. Cette inadéquation révèle la présence de perturbations importantes sur la Dordogne, tout particulièrement sur l'aval, ce qui semble cohérent au vu des perturbations présentes sur le bassin et des stratégies reproductives constatées en aval (caractéristiques de milieux perturbés, instables).

Malgré certains gradients prononcés (température, conductivité, etc.) les paramètres physico-chimiques et hydrologiques utilisés ne semblent, en définitive, expliquer que très peu les structures faunistiques. Cette faible influence reste cependant à nuancer par les contraintes et biais insérés dans l'étude. En effet, les très nombreuses valeurs manquantes dans la physico-chimie ont dû être statistiquement imputées pour rendre possibles les analyses. Bien que la méthode d'imputation employée soit optimisée pour ce type d'analyses, l'utilisation de telles méthodes implique indubitablement une perte du potentiel explicatif des données (JOSSE & HUSSON 2016). À l'avenir, la mise en place de suivis chroniques (journaliers) de paramètres tels que la température serait donc souhaitable pour produire une analyse des paramètres environnementaux de meilleure qualité. De plus, l'influence environnementale des nombreux ouvrages hydro-électriques sur la Dordogne est indéniable de par son impact à la fois sur l'hydrologie et la physico-chimie. En effet, la gestion artificialisée des débits au niveau des ouvrages et le lâcher d'eaux froides en aval des barrages a pour principal impact de retirer toute forme de dynamiques hydrologiques et thermiques naturelles, ce qui cache potentiellement la part de pressions telles que le changement climatique dans l'évolution des communautés d'invertébrés (HOGG & WILLIAMS 1996).

Du fait des contraintes imposées par l'utilisation en routine des protocoles des réseaux nationaux de surveillance, de nombreuses incertitudes subsistent et il est d'autant plus nécessaire de les prendre en compte dans ce type d'études approfondies. Malgré l'effort de normalisation des protocoles, de nombreux biais potentiels s'additionnent tout au long de la procédure depuis le prélèvement jusqu'à la transcription des résultats. Parmi ces biais, le premier rencontré est la variabilité intra-substrat. Contrairement aux travaux s'inscrivant dans le cadre de recherches, des prélèvements de monitoring ne peuvent être exhaustifs. La diversité, l'expérience et fatigue des opérateurs, l'évolution des normes, la grande difficulté à identifier certains taxons, la systématique en constante évolution et la difficulté d'estimation de l'abondance de certains taxons (par exemple les oligochètes) sont autant de facteurs s'additionnant à cette variabilité naturelle et pouvant

affecter le rendu final (WIEDERKEHR 2015). La présente étude s'est donc appuyée sur des données très hétérogènes, et toute évolution constatée en termes de composition faunistique reste à systématiquement nuancer par les nombreux biais et la non exhaustivité des protocoles invertébrés.

Il est admis qu'un niveau de détermination supérieur implique une meilleure compréhension des communautés (HILTY & MERELENDER 2000). C'est donc pourquoi, naturellement, l'analyse des communautés au niveau de détermination A (famille principalement) présente des résultats moins séduisants que l'analyse au niveau B (genre) qui, logiquement, serait moins séduisante qu'une analyse poussée à l'espèce. Cependant, rentre également en jeu dans la recherche des meilleures analyses le type de données employées : abondance, abondance relative ou encore présence-absence. De ce fait, même si la robustesse des données RCS a ici permis de caractériser spatialement les communautés, l'information à l'espèce telle que dans l'étude de F. Labat dans les années 2010 s'avère indispensable pour diagnostiquer de réelles évolutions temporelles.

La principale évolution spatio-temporelle détectée ici est une stabilisation des occurrences de taxons autrefois retrouvés plus rarement. Cette tendance se rapproche d'un scénario prévisible s'inscrivant dans le cadre d'un changement climatique, bien que ce scénario théorique soit à nuancer par la forte hétérogénéité de la rivière (de très petit cours d'eau du massif central jusqu'à très grand cours d'eau des coteaux aquitains) qui limite la potentielle remontée d'espèces.

Le choix de considérer des abondances au niveau générique apparaît comme le meilleur compromis pour disposer de grandes chroniques temporelles tout en couvrant une large échelle spatiale. Cette robustesse des chroniques permet d'obtenir des résultats tout à fait satisfaisants dans un cadre spatial. En revanche, la principale faiblesse des données utilisées réside dans le suivi non équilibré des stations. Pour que des réelles trajectoires spatio-temporelles puissent être définies, il est nécessaire que les stations suivies le soient de manière systématique. Il serait donc souhaitable que ces analyses soient à nouveau réalisées dans plusieurs années, lorsque les chroniques issues de méthodes DCE-compatibles seront plus solides et rendront possible l'analyse de telles trajectoires.

## 5. Conclusion

Les communautés d'invertébrés de la Dordogne apparaissent dans cette étude comme structurées en premier lieu par une zonation amont-aval très robuste. Il apparaît que les données issues des réseaux nationaux de surveillance pourraient être utilisées dans un cadre différent du monitoring, mais le suivi des stations doit pour cela être systématique et les résultats devront seulement s'inscrire comme des compléments aux études plus approfondies. D'autres analyses seront donc à réaliser dans la suite de ces travaux pour constater la pertinence de l'étude des données RCS dans un cadre spatio-temporel. Il serait intéressant de mener des analyses similaires sur d'autres modèles d'études que la Dordogne, notamment des rivières avec de plus fortes pressions anthropiques, ou encore sur d'autres modèles biologiques tels que les diatomées.

### Travaux cités

- AFNOR. 2004. Norme NF T90-350 Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN).  
AFNOR. 2010. Norme XP T90-388 Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau.

- AFNOR. 2016. Norme NF T90-333 Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.
- AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE. 2006. Système d'information sur l'eau Adour-Garonne. <http://adour-garonne.eaufrance.fr/>
- BANQUE HYDRO. 2006. Banque nationale de donnée pour l'hydrométrie et l'hydrologie.
- BOYERO, L. 2003. Multiscale patterns of spatial variation in stream macroinvertebrate communities. *Ecological Research*, **18** (4): 365–379.
- CORINE LAND COVER. 2006. Corine Land Cover. European Environment Agency, Copenhagen.
- CTGREF. 1980. Étude hydrobiologique de la Dordogne.
- HILTY, J. & A. MERELENDER. 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological conservation*, **92** (2): 185-197.
- HOGG, I. D. & D. D. WILLIAMS. 1996. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: an ecosystem-level manipulation. *Ecology*, **77** (2) : 395-407. <https://doi.org/10.2307/2265617>
- ILLIES, J. & L. BOTOSANEANU. 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, **12** : 1-57.
- JOSSE, J. & F. HUSSON. 2016. MissMDA : a package for handling missing values in multivariate data analysis. *Journal of Statistical Software*, **70** (1): 1-31. <https://doi.org/10.18637/jss.v070.i01>
- LENAT, D. R. & D. L. PENROSE. 1996. History of the EPT taxa richness metric. *Bulletin of the North American Benthological Society*, **13** (2): 305-306.
- SOUSA, R., C. ANTUNES & L. GUILHERMINO. 2008. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: an overview. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, **44** (2): 85-94. <https://doi.org/10.1051/limn:2008017>
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD & P. USSEGLIO-POLATERA. 2010. *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie*. CNRS éditions. Paris. 607 pp.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, **37** (1): 130-137.
- WIEDERKEHR, J. 2015. *Estimation des incertitudes associées aux indices macroinvertébrés et macrophytes pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau*. Thèse de doctorat en Géochimie. Université de Strasbourg. 209 pp.
- R. H. MACARTHUR & E. O. WILSON. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, NJ. 203 pp.

Pp. 55-56. Annexe : correspondance des codes employés pour les traits bio-écologiques.

Pp. 55-56. Annex : correspondance des codes employés pour les traits bio-écologiques.

Trait	Modalité	Code
Taille en mm	< 2,5	TA1
	2,5 à 5	TA2
	5 à 10	TA3
	10 à 20	TA4
	20 à 40	TA5
	40 à 80	TA6
	> 80	TA7
Âge	≤ 1 an	A1
	> 1 an	A2
Nombre de générations	< 1/an	Gen0
	1/an	Gen1
	> 1/an	Gen2
Vie aquatique	œuf	Vie1
	larve	Vie2
	nymphe	Vie3
	adulte	Vie4
Reproduction sexuée, asexuée	ovoviviparité + soins jeunes	R1
	œufs isolés libres	R2
	œufs isolés fixés	R3
	pontes cimentées ou fixées	R4
	pontes libres	R5
	pontes endophytiques	R6
	pontes terrestres	R7
	reproduction asexuée	R8
	parthénogénèse	R9
Dispersion	aquatique passive	D1
	aquatique active	D2
	aérienne passive	D3
	aérienne active	D4
Forme de résistance	œuf, gemmules, statoblastes, coques	F1
	cocons	F2
	logettes contre dessiccation	F3
	diapause ou quiescence	F4
	aucune	F5
Type de nourriture	sédiments fins + micro-organismes	N1
	débris < 1 mm	N2
	débris végétaux > 1 mm	N3
	microphytes vivants	N4
	macrophytes vivants	N5
	animaux morts < 1 mm	N6
	micro-invertébrés vivants	N7
	macro-invertébrés vivants	N8
	vertébrés	N9
Mode d'alimentation	absorption à travers les téguments	MA1
	mangeur de sédiments fins	MA2
	broyeur	MA3
	râcleur brouteur	MA4
	filtreur	MA5
	perceur alvivoire ou prédateur suceur	MA6
	prédateur découpeur ou avaleur	MA7
	parasite	MA8
Microhabitats préférés	dalles, blocs, pierres, galets	Mh1
	graviers	Mh2
	sables	Mh3
	limon	Mh4
	macrophytes, algues filamenteuses	Mh5
	microphytes	Mh6
	branches racines	Mh7
	litières	Mh8
	vases	Mh9

Trait	Modalité	Code
Mode de locomotion	vol	Mloc1
	nageur en surface	Mloc2
	nageur en pleine eau	Mloc3
	rampant	Mloc4
	fouisseur épibenthique	Mloc5
	endobenthique (interstitiel)	Mloc6
	fixation temporaire	Mloc7
	fixation permanente	Mloc8
Vitesse eau	nulle	Vi1
	lente (< 25 cm/s)	Vi2
	moyenne (25 à 50 cm/s)	Vi3
	rapide (> 50 cm/s)	Vi4
Respiration	téguments	Res1
	branchies	Res2
	plastron	Res3
	stigmates respiration aérienne	Res4
	vésicules hydrostatiques	Res5
Température	sténotherme psychrophile < 15 °C	T1
	sténotherme thermophile > 15 °C	T2
	eurytherme	T3
pH	< 4	pH1
	4 à 4,5	pH2
	4,5 à 5	pH3
	5 à 5,5	pH4
	5,5 à 6	pH5
	> 6	pH6
Trophie	oligotrophe	Tr1
	mésotrophe	Tr2
	eutrophe	Tr3
Valeur saprobiale	xénosaprobe	VS1
	oligosaprobe	VS2
	β mésosaprobe	VS3
	α mésosaprobe	VS4
	polysaprobe	VS5
Sel	eau douce	S1
	eau saumâtre	S2
Zones biologiques	2 : Pyrénées	ZB1
	4 : Alpes, Jura	ZB2
	8 : Massif central & Vosges	ZB3
	13a : basses terres océaniques	ZB4
	13b : basses terres méditerranéennes	ZB5
Altitude	plaine + collinéen (< 1000 m)	AI1
	montagnard (1000 à 2000 m)	AI2
	alpin (> 2000 m)	AI3
Distribution longitudinale	crénon	DI1
	épirhithron	DI2
	métarhithron	DI3
	hyporhithron	DI4
	épipotamal	DI5
	métapotamon	DI6
	estuaire	DI7
	hors hydrosystème fluvial	DI8
Distribution transversale	chenal de rivière	Dtrav1
	rives chenaux secondaires	Dtrav2
	étangs, mares, méandres abandonnés	Dtrav3
	marais, torubières	Dtrav4
	eaux temporaires	Dtrav5
	lacs	Dtrav6
	habitats souterrains	Dtrav7